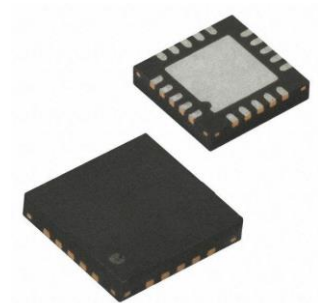


激光测距用高精度时间测量(TDC)电路

产品简述

MS1003 是一款高精度时间测量(TDC)电路, 对比 MS1002 具有更高的精度和更小的封装, 适合于高精度小封装的应用领域。

MS1003 具有双通道、多脉冲的采样能力、高速 SPI 通讯、多种测量模式, 适合于激光雷达和激光测距。



QFN20

主要特点

- 双通道单精度模式 46ps
- 单通道双精度模式 23ps
- 非校准单精度测量范围 3.5ns(0ns)至 16 μ s
- 非校准双精度测量范围 3.5ns(0ns)至 16 μ s
- 校准单精度测量范围 3.5ns(0ns)至 4 μ s
- 校准双精度测量范围 3.5ns(0ns)至 2 μ s
- 10ns 最小脉冲间隔, 双通道最多可接收 20 个脉冲
- 4 线 SPI 通信接口
- 工作电压 2.5V 至 3.6V
- 工作温度 -40°C 至 +100°C
- QFN20 封装

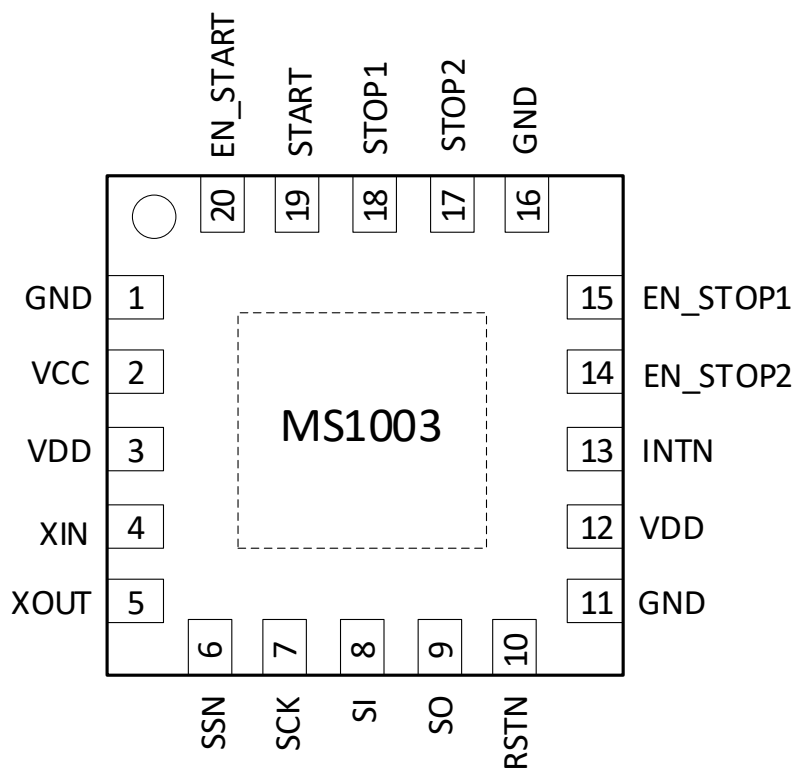
应用

- 激光雷达
- 激光测距
- 脉冲测量

产品规格分类

| 产品 | 封装形式 | 丝印名称 |
|--------|-------|--------|
| MS1003 | QFN20 | MS1003 |

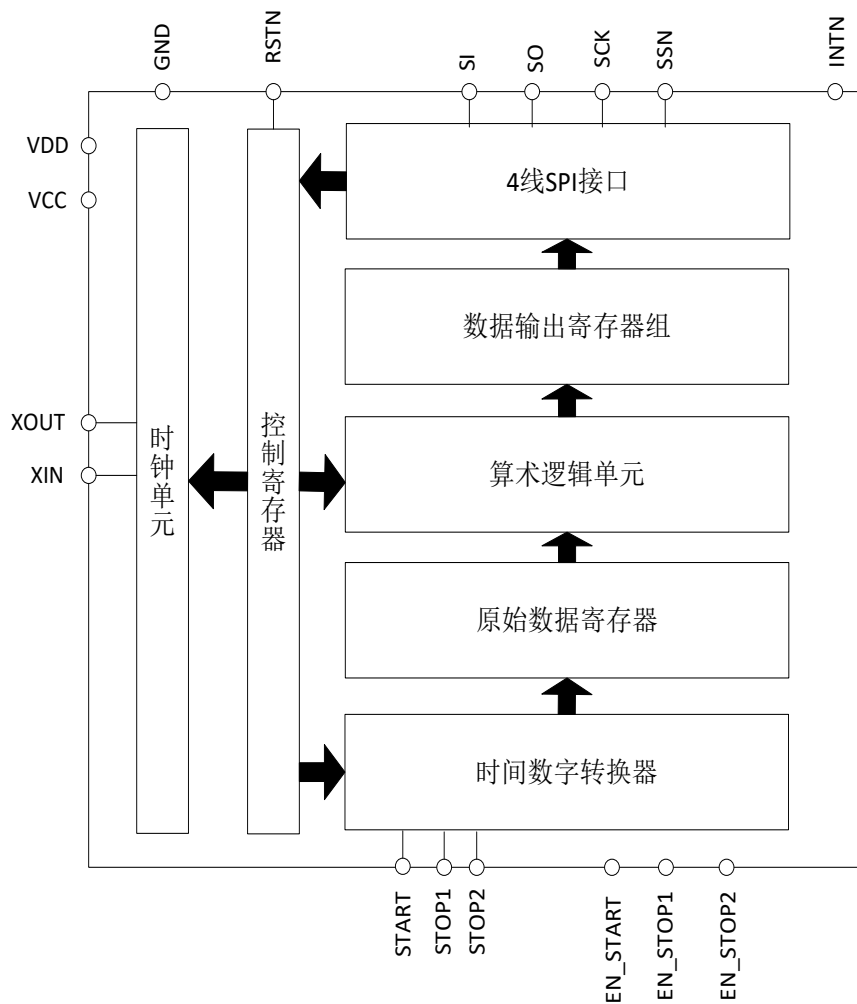
管脚图



管脚说明

| 管脚编号 | 管脚名称 | 管脚属性 | 管脚描述 |
|------|----------|------|--|
| 1 | GND | - | 地 |
| 2 | VCC | - | 端口电源 |
| 3 | VDD | - | 内核电源 |
| 4 | XIN | I | 高速晶振驱动输入 |
| 5 | XOUT | O | 高速晶振驱动输出 |
| 6 | SSN | I | SPI 接口从机选择，低电平有效 |
| 7 | SCK | I | SPI 接口时钟输入 |
| 8 | SI | I | SPI 接口数据输入 |
| 9 | SO | O | SPI 接口数据输出；SPI 空闲时高阻 |
| 10 | RSTN | I | 系统复位输入，低电平有效 |
| 11 | GND | - | 地 |
| 12 | VDD | - | 内核电源 |
| 13 | INTN | O | 中断标志，低电平有效 |
| 14 | EN_STOP2 | I | Stop 通道 2 使能端口，高电平有效 |
| 15 | EN_STOP1 | I | Stop 通道 1 使能端口，高电平有效 |
| 16 | GND | - | 地 |
| 17 | STOP2 | I | Stop 通道 2 |
| 18 | STOP1 | I | Stop 通道 1 |
| 19 | START | I | Start 通道 |
| 20 | EN_START | I/O | 默认输出口，输出 START 脉冲，建议不要直接接电源，以免产生大电流；EN_START 内部上拉 Start 使能，可通过设置寄存器设置为 EN_START 输入，高电平有效 |

内部框图



极限参数

芯片使用中，任何超过极限参数的应用方式会对器件造成永久的损坏，芯片长时间处于极限工作状态可能会影响器件的可靠性。极限参数只是由一系列极端测试得出，并不代表芯片可以正常工作在此极限条件下。

| 参数 | 符号 | 额定值 | 单位 |
|-----------|--------------|---------------------|----|
| 内核供电电压 | V_{DD} | -0.3 ~ 4 | V |
| IO 供电电压 | V_{CC} | -0.3 ~ 4 | V |
| 输入管脚电压 | V_{IN} | -0.5 ~ $V_{CC}+0.5$ | V |
| 存储温度 | T_{STG} | -65 ~ 150 | °C |
| 工作环境温度 | T_A | -40 ~ 100 | °C |
| 焊接温度(10s) | T_{SOLDER} | 260 | °C |
| ESD (HBM) | V_{HBM} | >6000 | V |

推荐工作条件

没有特别规定， $T_A = 25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 。

| 参数 | 符号 | 测试条件 | 最小值 | 典型值 | 最大值 | 单位 |
|---------------------|----------|-------------------|-----|-----|-----|----|
| 内核供电电压 ¹ | V_{DD} | $V_{DD} = V_{CC}$ | 2.5 | | 3.6 | V |
| IO 供电电压 | V_{CC} | | 2.5 | | 3.6 | V |
| 一般输入上升沿时间 | t_{RI} | | | | 200 | ns |
| 一般输入下降沿时间 | t_{FA} | | | | 200 | ns |
| 工作环境温度 | T_A | | -40 | | 100 | °C |

注 1：包括晶振管脚 XIN、XOUT。

电气参数

直流特性

 $V_{DD}=V_{CC}=3.0V$, $T_A=-40^{\circ}C$ 到 $+85^{\circ}C$

| 参数 | 符号 | 测试条件 | 最小值 | 典型值 | 最大值 | 单位 |
|-----------|----------|--|-------------|-----|-------------|---------|
| 4MHz 晶振电流 | I_{HS} | $V_{CC}=V_{DD}=3.6V$ | | 200 | | μA |
| | | $V_{CC}=V_{DD}=3.0V$ | | 130 | | μA |
| | | 关闭时 | | <1 | | μA |
| 操作电流 | I_o | TOF($V_{CC}=V_{DD}=3.3V$) | | 4.1 | | mA |
| 输出高电压 | V_{OH} | $I_{OH}=tbd\text{ mA}$, $V_{CC}=\text{Min}$ | $0.8V_{CC}$ | | | V |
| 输出低电压 | V_{OL} | $I_{OL}=tbd\text{ mA}$, $V_{CC}=\text{Min}$ | | | $0.2V_{CC}$ | V |
| 输入高电压 | V_{IH} | LVTTL, $V_{CC}=\text{Max}$ | $0.7V_{CC}$ | | | V |
| 输入低电压 | V_{IL} | LVTTL, $V_{CC}=\text{Min}$ | | | $0.3V_{CC}$ | V |

终端等效电容

| 参数 | 符号 | 测试条件 | 最小值 | 典型值 | 最大值 | 单位 |
|------|----------|---|-----|-----|-----|----|
| 数字输入 | C_{IN} | $V_{CC}=V_{DD}$, $f=1\text{MHz}$, $T_A=25^{\circ}C$ | | 7 | | pF |
| 数字输出 | C_O | | | 3 | | pF |
| 双向 | C_{IO} | | | 9 | | pF |

时间测量单元

 $V_{DD}=V_{CC}=3.0V$, $T_A=25^{\circ}C$

| 参数 | 符号 | 测试条件 | 最小值 | 典型值 | 最大值 | 单位 |
|-------|----------|----------------|-------------|-----|------------|----|
| 测量分辨率 | LSB | DOUBLE_RES = 0 | | 46 | | ps |
| | | DOUBLE_RES = 1 | | 23 | | |
| 标准偏差 | σ | DOUBLE_RES = 0 | 测量时间 100ns | 40 | | ps |
| | | | 测量时间 1000ns | 48 | | |
| | | DOUBLE_RES = 1 | 测量时间 100ns | 37 | | |
| | | | 测量时间 1000ns | 46 | | |
| 测量范围 | t_M | 非校准单精度测量 | 3.5ns | | 16 μs | |
| | | 非校准双精度测量 | 3.5ns | | 16 μs | |
| | | 自校准单精度测量 | 3.5ns | | 4 μs | |
| | | 自校准双精度测量 | 3.5ns | | 2 μs | |

时钟振荡器

| 参数 | 符号 | 测试条件 | 最小值 | 典型值 | 最大值 | 单位 |
|----------|--------------------|------|-----|-----|-----|-----|
| 高速晶振参考时钟 | Clk _{HS} | | 1 | 4 | 8 | MHz |
| 陶瓷晶振起振时间 | t _{OSZST} | | | 100 | | μs |
| 石英晶振起振时间 | t _{OSZST} | | | 1 | | ms |

功能描述

1. SPI接口

MS1003 的 SPI 接口是与 4 线制 SPI 兼容的，它需要一个 SerialSelectNot (SSN)信号，从而不能够工作在 3-线制 SPI 接口。

SSN 的下降沿或者第一个 SCK 的上升沿将会复位 INTN 管脚（中断管脚）状态。

从最高位(MSB)开始传输以最低位(LSB)结束。传输是以字节方式完成的。数据传输可以在每个字节后停止，通过给 SSN 发送一个 LOW-HIGH-LOW 的电平。

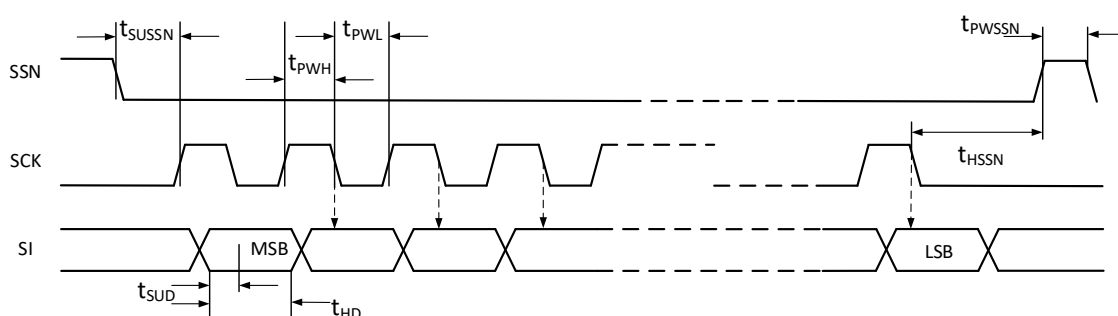


图 1. SPI 写时序

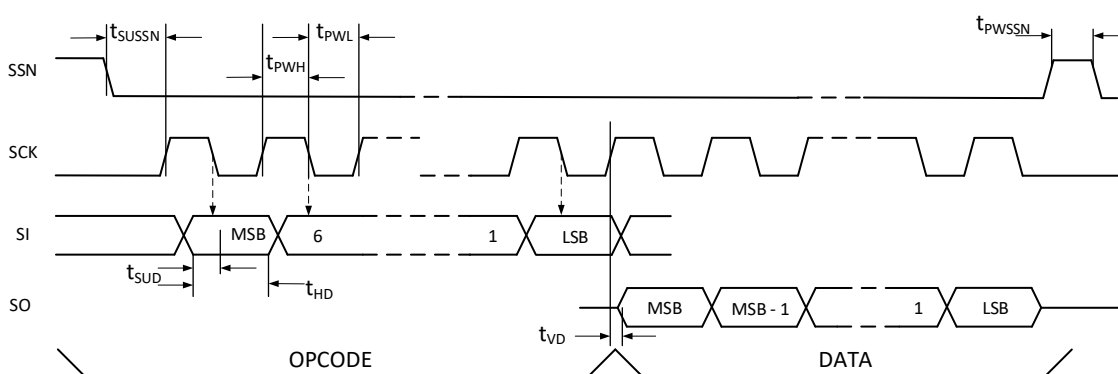


图 2. SPI 读时序

| 参数 | 符号 | V _{DD} =2.5V | V _{DD} =3.3V | 单位 |
|---------------------|--------------------|-----------------------|-----------------------|-----|
| 串行时钟频率 | f _{CLK} | 25（最大值） | 40（最大值） | MHz |
| 串行时钟, 脉冲高 | t _{PWH} | 20（最小值） | 12（最小值） | ns |
| 串行时钟, 脉冲低 | t _{PWL} | 20（最小值） | 13（最小值） | ns |
| SSN 开启到时钟沿有效 | t _{SUSSN} | 20（最小值） | 20（最小值） | ns |
| SSN 在写循环之间的脉冲宽度 | t _{PWSSN} | 25（最小值） | 25（最小值） | ns |
| SSN 在 SCK 下降沿后的保持时间 | t _{HSSN} | 15（最小值） | 15（最小值） | ns |
| 数据有效到 SCK 下降沿的时间 | t _{SUD} | 5（最小值） | 5（最小值） | ns |
| 数据在 SCLK 下降沿后的保持时间 | t _{HD} | 5（最小值） | 5（最小值） | ns |
| 在 SCK 上升沿到数据有效的时间 | t _{VD} | 15（最小值） | 10（最小值） | ns |

2. 关闭STOP通道的时序

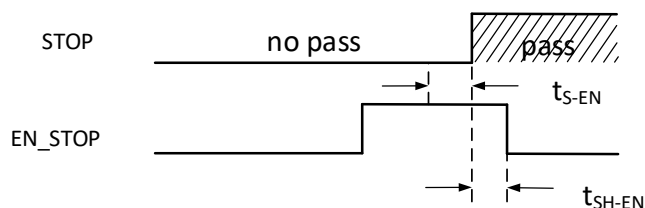


图 3. 关闭 STOP 通道时序

| 参数 | 符号 | 测试条件 | 最小值 | 典型值 | 最大值 | 单位 |
|--------|-------------|------|-----|-----|-----|----|
| 使能建立时间 | t_{S-EN} | | 3.5 | | | ns |
| 使能保持时间 | t_{SH-EN} | | 15 | | | ns |

3. 系统复位时序

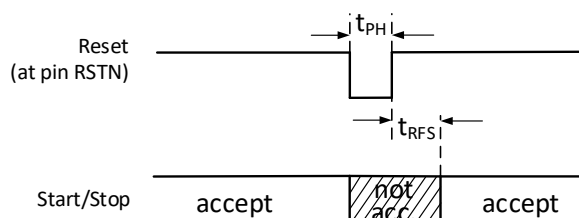


图 4. 系统复位时序

| 参数 | 符号 | 最小值 | 最大值 | 单位 |
|-----------------------|-----------|-----|-----|----|
| 复位脉冲宽度 | t_{PH} | 30 | | ns |
| 在复位脉冲上升沿后到可以接受脉冲的时间间隔 | t_{RFS} | 30 | | ns |

4. 电源电压

为了达到最佳测量效果，好的电源非常重要。电源应该具有高电容性和低电感性。MS1003 提供两对电源供应端口:VCC - I/O 供电电压，VDD - 内核供电电压。

所有的 Ground 引脚都应该连接到印刷电路板的地层上。VCC 和 VDD 应该通过一个电池或者固定的线性电压调节器给出。不要应用开关式的调节器，避免由于 IO 电压引起的干扰。

时间数字转换器能够有好的测量效果，完全取决于好的电源供电。芯片测量主要是脉冲式的电流，因此一个充足的双通滤波非常重要：VCC 47 μF （最小 22 μF ），VDD 100 μF （最小 22 μF ）。

电压应用通过一个模拟的调节器给出，我们推荐不要使用开关式的电压调节。

5. 操作码及寄存器

5.1 配置寄存器

MS1003 有 1 组 32 位的配置寄存器。

| 位 | 默认 | 参数 | 描述 | 设置 |
|----|----|--------------|---|------------------------------------|
| 31 | 0 | HITIN2 | 在 stop 通道 2 的预期脉冲数 | 0 = stop 通道关闭 |
| 30 | 0 | | | 2 = 1 个脉冲；3 = 2 个脉冲； |
| 29 | 1 | | | 4 = 3 个脉冲；5 = 4 个脉冲； |
| 28 | 0 | | | 6 = 5 个脉冲；7 = 6 个脉冲； |
| 27 | 0 | HITIN1 | 在 stop 通道 1 的预期脉冲数 | 8 = 7 个脉冲；9 = 8 个脉冲； |
| 26 | 0 | | | A = 9 个脉冲；B = 10 个脉冲 |
| 25 | 1 | | | 1,C 到 F = 不允许设置 |
| 24 | 0 | | | STOP1 不能设置为 0 |
| 23 | 0 | SEL_TIMO | 溢出时间选择（使该功能有效必须 EN_SEL_TIMO=1） 另外该溢出时间仅和高速时钟相关， 与分频系数 DIV_CLKHS 无关 | 0 = 1.5-2 个主时钟周期@500ns |
| 22 | 0 | | | 1 = 3.5-4 个主时钟周期@1μs |
| | | | | 2 = 7.5-8 个主时钟周期@2μs |
| | | | | 3 = 15.5-16 个主时钟周期@4μs |
| | | | | @ 4MHz ClkHS |
| 21 | 0 | DIV_CLKHS | 设置 CLKHS 高速参考时钟的分频因数 | 0 = 不分频， 1 = 2 分频 |
| 20 | 0 | | | 2 = 4 分频， 3 = 8 分频 |
| 19 | 0 | START_CLKHS | 设置晶振的开启和关闭（晶振关闭 后可以进行非校准模式测试） | 0 = 晶振关闭 1 = 晶振一直开启 |
| 18 | 1 | DOUBLE_RES | 双精度测量开启 （当开启双精度时，只能使用 STOP1 通道，STOP2 通道无效） | 0 = 关闭 1 = 开启 |
| 17 | 1 | EN_ERR_VAL | 由于时间溢出强迫 ALU 写入 0xFFFFFFFF 到结果寄存器 （仅校准模式有效） | 0 = 关闭 1 = 开启 |
| 16 | 0 | EN_FAST_INIT | 启动快速初始化功能 | 0 = 关闭功能；1 = 启动功能 |
| 15 | 0 | SEL_TSTO2 | 定义 EN_START 管脚功能 （如果设 SEL_TSTO2 > 0 那么 EN_START 内部上拉高电平） | 0 =输入高电平将开启 START |
| 14 | 1 | | | 1 = START_TDC 输出 |
| | | | | 2 = STOP1 TDC 输出 |
| | | | | 3 = STOP2 TDC 输出 |
| 13 | 1 | CALIBRATE | 开启/关闭 在 ALU 中的校准 | 0 = 校准关闭；1 = 校准开启 |
| 12 | 0 | NO_CAL_AUTO | 开启/关闭产生校准值（如需开启 CALIBRATE，该位则必须设置为 0） | 0 = 在测量后自动产生校准值 1 = 关闭自动产生校准值功能 |
| 11 | 0 | K.D | 必须设置为默认值 | |

| 位 | 默认 | 参数 | 描述 | 设置 |
|----|----|-------------|---------------------------------|---------------------------|
| 10 | 0 | NEG_STOP2 | 反向 stop 通道 2 输入 | 0 = 上升沿触发 1 = 下降沿触发 |
| 9 | 0 | NEG_STOP1 | 反向 stop 通道 1 输入 | 0 = 上升沿触发 1 = 下降沿触发 |
| 8 | 0 | NEG_START | 反向 start 通道 1 输入 | 0 = 上升沿触发 1 = 下降沿触发 |
| 7 | 0 | EN_SEL_TIMO | 溢出时间功能开启 (和 SEL_TIMO 功能配合使用) | 0 = 关闭 1 = 开启 |
| 6 | 0 | EN_INT[2:0] | INIT 输出中断源选择 | Bit 6 = 1: Timeout 中断触发位 |
| 5 | 0 | | | Bit 5 = 1: End Hits 中断触发位 |
| 4 | 0 | | | Bit 4 = 1: ALU 中断触发位 |
| 3 | 0 | K.D | 必须设置为默认值 | |
| 2 | 0 | K.D | 必须设置为默认值 | |
| 1 | 0 | RFEDGE2 | 通道 2 的边沿敏感性 | 0 = 上升或下降沿 1 = 上升和下降沿 |
| 0 | 0 | RFEDGE1 | 通道 1 的边沿敏感性 | |

5.2 操作码

| 操作码 HEX | MSB | | | | LSB | | | | 符号 | 操作 |
|---------|-----|---|---|---|-----|---|---|---|----------------------|----------|
| 'h80 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 写入配置寄存器 | 写入 32bit |
| 'hBx | 1 | 0 | 1 | 1 | A | A | A | A | 读取地址 STOP1 数据 A(0-9) | 读出 24bit |
| 'hCx | 1 | 1 | 0 | 0 | A | A | A | A | 读取地址 STOP2 数据 A(0-9) | 读出 24bit |
| 'hBB | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 读取校验数据(CAL) | 读出 24bit |
| 'hBC | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 读取配置寄存器的低 8 位 | 读出 8bit |
| 'hBD | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 读取状态(STAT) | 读出 24bit |
| 'h70 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | Init | 初始化指令 |
| 'h50 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | Power_On_Reset | 复位指令 |
| 'h04 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | Start_Cal_TDC | CAL 测量指令 |

5.3 结果寄存器

| 操作码 | 符号 | 位数 | 描述 |
|-----|--------|----|--|
| B0 | RES1_0 | 24 | STOP1 测量结果 1, 校准模式: 24 位固定浮点数, 高 8 位整数, 低 16 位小数 非校准模式: 24 位整数 |
| B1 | RES1_1 | 24 | STOP1 测量结果 2, 格式同 RES1_0 |
| B2 | RES1_2 | 24 | STOP1 测量结果 3, 格式同 RES1_0 |
| B3 | RES1_3 | 24 | STOP1 测量结果 4, 格式同 RES1_0 |
| B4 | RES1_4 | 24 | STOP1 测量结果 5, 格式同 RES1_0 |
| B5 | RES1_5 | 24 | STOP1 测量结果 6, 格式同 RES1_0 |
| B6 | RES1_6 | 24 | STOP1 测量结果 7, 格式同 RES1_0 |
| B7 | RES1_7 | 24 | STOP1 测量结果 8, 格式同 RES1_0 |
| B8 | RES1_8 | 24 | STOP1 测量结果 9, 格式同 RES1_0 |
| B9 | RES1_9 | 24 | STOP1 测量结果 10, 格式同 RES1_0 |
| C0 | RES2_0 | 24 | STOP2 测量结果 1, 格式同 RES1_0 |
| C1 | RES2_1 | 24 | STOP2 测量结果 2, 格式同 RES1_0 |
| C2 | RES2_2 | 24 | STOP2 测量结果 3, 格式同 RES1_0 |
| C3 | RES2_3 | 24 | STOP2 测量结果 4, 格式同 RES1_0 |
| C4 | RES2_4 | 24 | STOP2 测量结果 5, 格式同 RES1_0 |
| C5 | RES2_5 | 24 | STOP2 测量结果 6, 格式同 RES1_0 |
| C6 | RES2_6 | 24 | STOP2 测量结果 7, 格式同 RES1_0 |
| C7 | RES2_7 | 24 | STOP2 测量结果 8, 格式同 RES1_0 |
| C8 | RES2_8 | 24 | STOP2 测量结果 9, 格式同 RES1_0 |
| C9 | RES2_9 | 24 | STOP2 测量结果 10, 格式同 RES1_0 |
| BB | CAL | 24 | 整数, 24 位 |

校准模式: $\text{Time} = \text{RES_X} \times \text{Tref} \times \text{N}$, 当 $\text{N} = 1, 2, 4$ 或 8

非校准模式: $\text{Time} = \text{RES_X} \times 46\text{ps}$ ($\text{VDD}=3.3\text{V}$, 单精度)

5.4 状态寄存器(STAT)

| 操作码 | 描述 | | | | | | | | |
|-----|-------|------------------|----|----------|-----------|-----------|-----------|---|------------------|
| BD | 23-20 | 19-16 | 15 | 14 | 13 | 12-9 | 8-5 | 4 | 3-0 |
| | 0 | STOP2 结果 地址指针 | 0 | 时间 溢出 | TDC 溢出 | STOP2 脉冲数 | STOP1 脉冲数 | 0 | STOP1 结果 地址指针 |

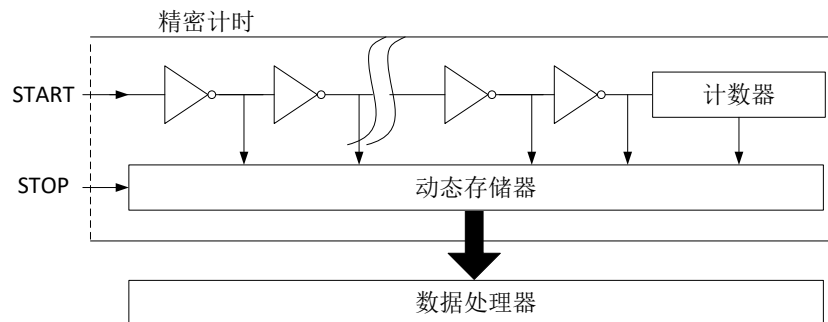
6. 时间测量

6.1 概述

- 非校准单精度模式测量范围从 3.5ns 到 16 μ s(0-16 μ s 在两个 stop 通道之间测量)
- 非校准双精度模式测量范围从 3.5ns 到 16 μ s(0-16 μ s 在两个 stop 通道之间测量)
- 校准模式单精度测量范围从 3.5ns 到 4 μ s(0-4 μ s 在两个 stop 通道之间测量)
- 校准模式双精度测量范围从 3.5ns 到 2 μ s(0-2 μ s 在两个 stop 通道之间测量)
- 单精度模式典型精度为 46 ps, 2 个 stop 通道相对于 start 通道
- 双精度模式典型精度为 23 ps, 仅 stop1 通道对应 start 通道
- 内置特殊防抖技术, 使测量时间高度精准
- 10 ns 的脉冲之间最小间隔
- 两个 stop 通道可同时采集, 且每个 stop 通道最多 10 个脉冲
- 每个 stop 通道可选择上升或下降沿捕获, 或者选择上升和下降沿同时捕获
- 自动测量 START 和 STOP 脉冲之间的时间间隔, 无需再进行寄存器设置
- 可任意设置溢出时间, 从而减少高速测量时溢出时间等待
- 在非校准模式下, 可以任意测量比预期脉冲数少的脉冲
- 典型应用: 激光测距、激光雷达、高精度延时测量

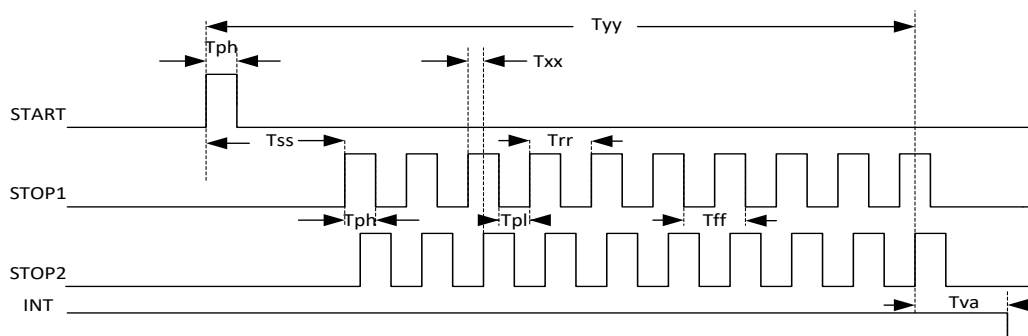
6.2 高精度时间测量原理

数字式 TDC 应用内部的逻辑门延时来高精度测量时间间隔, 下图阐述了这种绝对时间 TDC 的测量原理结构。该电路结构确保电路以特殊的测量方法, 使信号通过逻辑门的时间可以非常精确。最高的测量精度完全取决于内部通过逻辑门的传播时间。



时间测量是通过一个 start 信号触发,通过内部防抖处理后, TDC 的门电路开始高速计数, 直到 stop 信号产生记录计数结果, 达到 STOP 预期脉冲数后停止计数。

3.3V 和 25 $^{\circ}$ C 时, MS1003 的单精度最小分辨率是 46ps。温度和电压对门电路的传播延时时间有很大的影响。通常是通过校准来补偿由温度和电压变化而引起的误差。在校准过程中, TDC 测量 0.5 个和 1.5 个时钟周期, 相减后得一个时钟周期的 TDC 计数结果, 即为校准值。



| | 时间(条件) | 描述 |
|-----|------------------------------------|------------------------------|
| Tph | 2.5 ns (min.) | 最小脉冲宽度 |
| Tpl | 2.5 ns (min.) | 最小脉冲宽度 |
| Tss | 3.5 ns (min.) 16 μ s (max.) | Start 到 Stop 之间 |
| Trr | 10 ns (typ.) | 上升沿到上升沿 |
| Tff | 10 ns (typ.) | 下降沿到下降沿 |
| Tva | t.b.d. 非校准 t.b.d. 校准后 | 最后一个脉冲到 INIT 输出时间 (详见第九项) |
| Txx | 无时间限制 | 通道之间测量时间 |
| Tyy | 16 μ s (max) | 最大测量范围 |

每一个输入端均可以被单独设置成上升沿、下降沿或上下沿同时触发有效。可通过设置寄存器的 bit8-10 位(EG_START, NEG_STOP1, NEG_STOP2)和寄存器的 bit0-1 位(REFDGEx) 来选择触发沿。

时间测量结束后, MS1003 会自动将各个脉冲的测量结果顺序写到相应的结果寄存器, 无需再进行寄存器操作设置, 在计算结果的过程中先计算 STOP1 通道的脉冲, 然后计算 STOP2 通道的脉冲, 所以当使用单通道时, 必须使用 STOP1。

6.3 非校准时间测量

6.3.1 非校准时间测量概述

非校准时间测量，实际上就是应用数字式 TDC 内部的逻辑门延时来实现高精度时间测量，非校准模式下最大测量范围是 3.5ns-16μs，单精度模式下，可以两个 STOP 通道同时测量，且每个通道最多可以测量 10 个 STOP 脉冲，双精度模式下，仅 STOP1 通道可以使用。

非校准时间测量过程中，无需高速时钟参与，所以可以通过寄存器设置来关闭高速时钟 (START_CLKHS=0)，在该模式下，测量速度最快，结果寄存器直接输出门延时个数，在非校准模式下结果寄存器 20 位的有效位，测量时间计算如下，该测量时间受温度和电压影响。

$$\text{测量时间} = \text{RES_X} \times 46\text{ps} \quad (\text{DOUBLE_RES} = 0)$$

$$\text{测量时间} = \text{RES_X} \times 23\text{ps} \quad (\text{DOUBLE_RES} = 1)$$

非校准模式下也可以实现时间测量和 CAL 值同时测量，CAL 值需要在满足预期脉冲的前提下才会自动产生，不满足时可以通过发 Start_cal_tdc(0x04)来进行测量。在该模式下需要开启高速时钟 (START_CLKHS=1) 和开启自动校准 (NO_CAL_AUTO=0)，这样就会测量时间的同时会产生一个 Trefx N 周期的门延时个数，然后将 CAL 值存在指定的结果寄存器中。测量时间如下计算，该测量时间和温度和电压无关，仅和高速时钟抖动有关。

$$\text{测量时间} = \text{RES_X} \times (\text{Trefx N} / \text{CAL}), \text{N} = 1, 2, 4, 8$$

当接收脉冲未满足预期脉冲时会发生溢出。非校准模式测量溢出，当溢出时间功能关闭 (EN_SEL_TIMO=0) 的情况下，溢出时间相当于 TDC 溢出，也就是要 16μs 后产生溢出，并且状态寄存器 Bit13=1 (TDC 溢出)；当溢出时间功能开启 (EN_SEL_TIMO=1) 的情况下，溢出时间由溢出时间选择 (SEL_TIMO) 进行设置，溢出时间仅和高速时钟相关，不受时钟分频 (DIV_CLKHS) 的影响，例如高速时钟为 8MHZ，SEL_TIMO=0 的情况下，溢出时间为 125ns，溢出时状态寄存器 Bit14=1 (时间溢出)，该功能可以根据设置的溢出时间，提前产生溢出中断。

非校准模式下，当测量脉冲个数小于预期脉冲个数时，可以正常输出测量脉冲的值，虽然这时状态寄存器溢出，但测量到的脉冲产生的结果是正确的，这种应用可以解决在测距过程中多个不定目标的问题。

6.3.2 寄存器设置

主要的设置为:

a. 选择测量预期脉冲个数

寄存器 bit 31-28 设置 STOP2 预期脉冲个数 HITIN2=0 或者 2-B;

寄存器 bit 27-24 设置 STOP1 预期脉冲个数 HITIN1=2-B，不能设置为 0；否则无法开启测量。

b. 选择测量精度

寄存器 bit 18, DOUBLE_RES = 1 选择双精度模式，测量精度为典型 23ps 但仅有一个 stop 通道可用。

DOUBLE_RES = 0 选择单精度模式，测量精度为典型 46ps，这时两个 stop 通道都可用。

c. 校准选择

在非校准模式下，校准将关闭，寄存器 bit 13 CALIBRATE=0;

d. 产生 CAL 值

在非校准模式下，可以选择产生 CAL 值和不产生 CAL 值，寄存器 bit 12 NO_CAL_AUTO=0 时，产生 CAL 值，NO_CAL_AUTO=1 时，不产生 CAL 值。

e. 溢出选择

在非校准模式下，寄存器 bit 7 EN_SEL_TIMO=0 溢出时间关闭，这时溢出时间为 TDC 溢出，当 EN_SEL_TIMO=1 时开启溢出时间，且溢出时间和寄存器 bit 23-22 SEL_TIMO 设置有关。

f. 选择输入触发方式

可通过设置寄存器的 Bit 8-10(NEG_X)在每一个输入端口(Start, Stop1, Stop2)边沿触发方式。当 RFEDGE = 0 时，NEG_X = 0 则上升沿触发，NEG_X = 1 则下降沿发。还可以通过设置寄存器的 Bit0&1(RFEDGE1 & FEDGE2),选择 STOP 由上升沿或下降沿单独触发(RFEDGE=0)还是上升沿和下降沿同时触发(RFEDGE=1)，当 RFEDGE=1 时，Bit 9-10 选择无效。

g. 中断

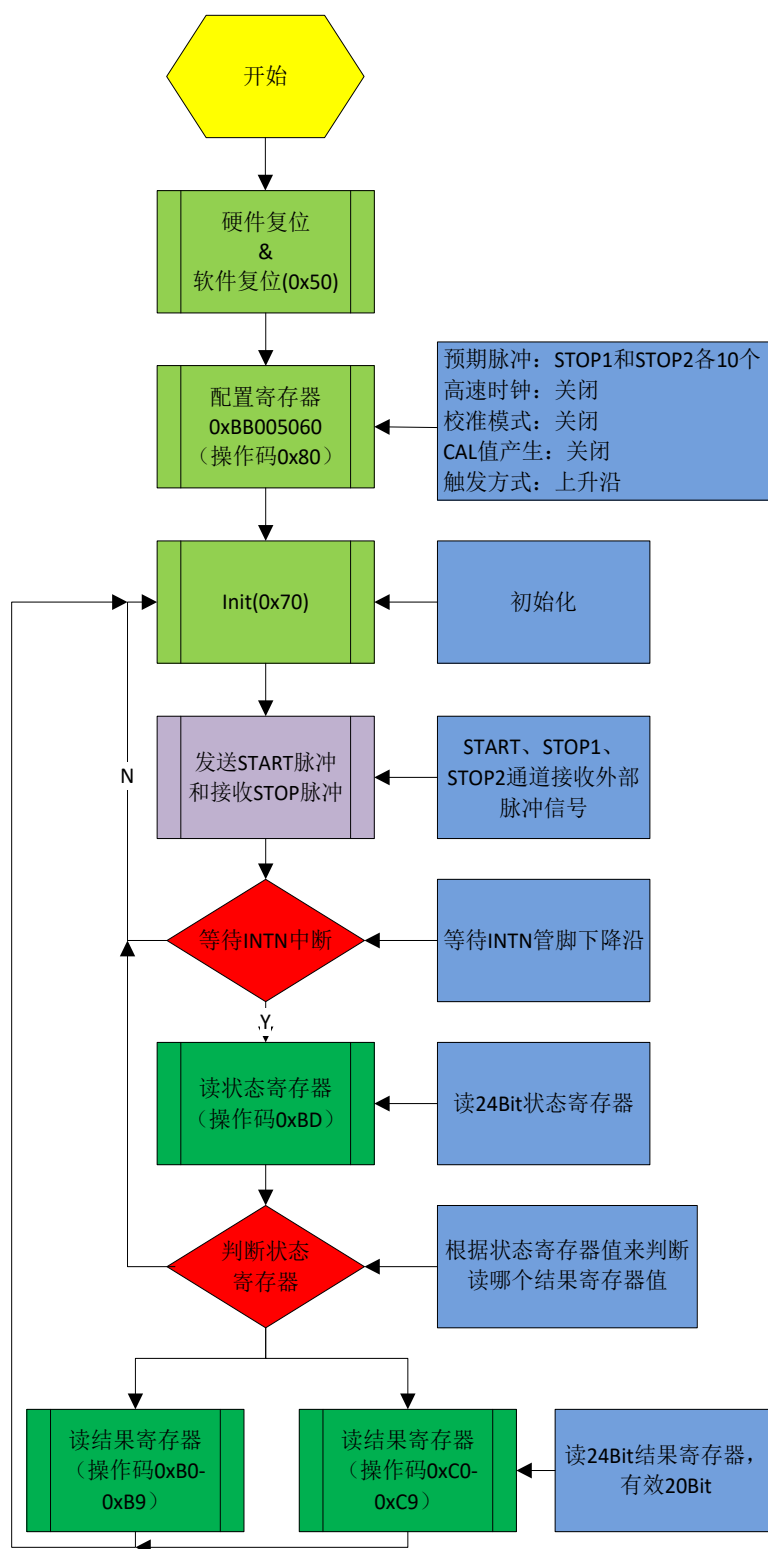
中断引脚 INTN 可以有不同的中断源，在寄存器的 Bits4-6(EN_INT)中进行选择,非校准模式选择 bit 6 = 1 和 bit 5= 1;

Reg bit 4 = 1 ALU 已经准备好。

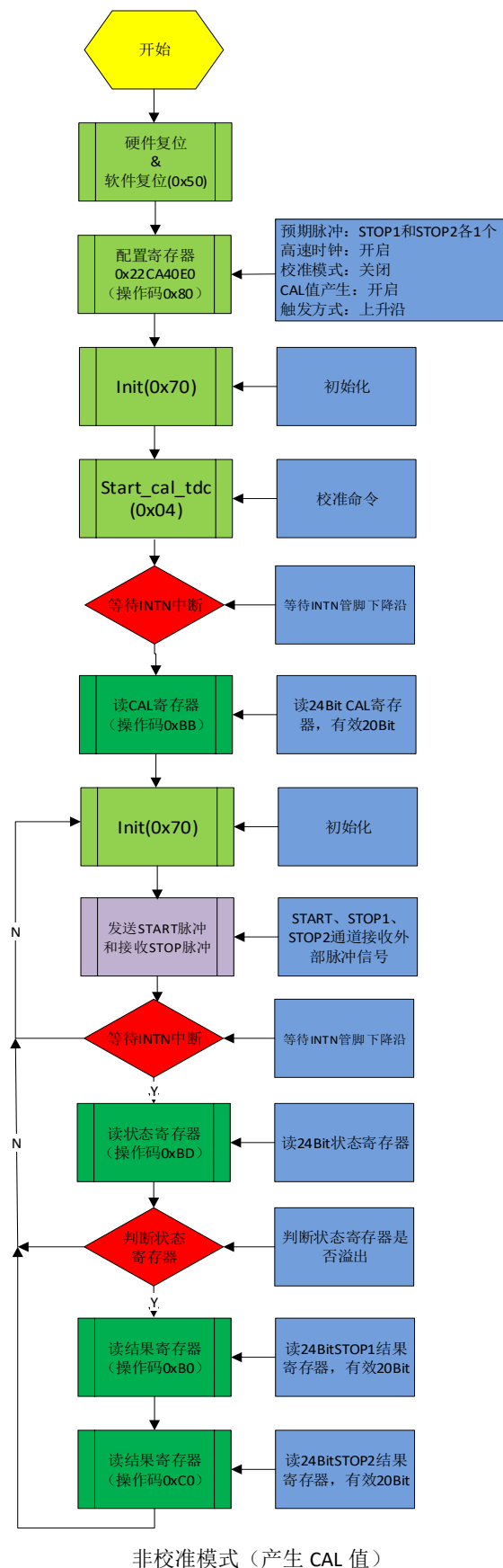
Reg bit 5 = 1 预期脉冲个数全部被接收到。

Reg bit 6 = 1 测量时间溢出。

6.3.3 测量流程



非校准模式 (不产生 CAL 值)



6.4 校准时间测量

注：校准测量单精度最大测量范围 4μs，双精度最大测量范围 2μs。

6.4.1 校准时间测量概述

校准时间测量，在高速振荡器开启情况下进行测量，测量的门延时数量和 Tref 门延时数量通过 ALU 进行计算并输出到结果寄存器。输出的结果为 24 位浮点数，高 8 位为整数位，低 16 位为小数位。校准模式下最大测量范围是 3.5ns-4μs，单精度模式下，可以两个 STOP 通道同时测量，且每个通道最多可以测量 10 个 STOP 脉冲，双精度模式下，仅 STOP1 通道可以使用。

校准时间测量过程中，需要开启高速时钟(START_CLKHS=1)和校准开启(CALIBRATE=1)，当产生校准值关闭(NO_CAL_AUTOCALIBRATE=1)结果寄存器输出非校准值（可参考非校准部分介绍），当产生校准值开启(NO_CAL_AUTOCALIBRATE=0)时，结果寄存器输出校准后的值 RES_X，测量时间如下计算，被测时差不能超过 $2 \times Tref \times DIV_CLKHS$ 。

$$\text{测量时间} = RES_X \times Tref \times N, N = 1, 2, 4, 8$$

在校准时间测量中，必须开启溢出时间功能(EN_SEL_TIMO=1)。溢出时间由溢出时间选择(SEL_TIMO)进行选择溢出时间，这里的时间仅和高速时钟相关，不受时钟分频(DIV_CLKHS)的影响，例如高速时钟为 8MHZ，SEL_TIMO=0 的情况下，溢出时间为 250ns，这时状态寄存器 Bit14=1（时间溢出）。

校准模式下，测量脉冲个数必须大于或者等于预期脉冲个数，当测量脉冲小于预期脉冲个数时，ALU 不进行计算，这时状态寄存器 Bit14=1（时间溢出）。且 EN_ERR_VAL=1 的情况下，结果寄存器 0 输出 0xFFFFFFFF。

6.4.2 寄存器设置

主要的设置为：

a. 选择测量预期脉冲个数

寄存器 bit 31-28 设置 STOP2 预期脉冲个数 HITIN2=0 或者 2-B；

寄存器 bit 27-24 设置 STOP1 预期脉冲个数 HITIN1=2-B，不能设置为 0；否则无法开启测量。

b. 选择测量精度

寄存器 bit 18, DOUBLE_RES = 1 选择双精度模式，测量精度为典型 23ps，但仅有一个 stop 通道可用。DOUBLE_RES = 0 选择单精度模式，测量精度为典型 46ps，这时两个 stop 通道都可用。

c. 校准选择

在校准模式下，高速晶振和校准都必须开启，寄存器 bit 13 CALIBRATE=1 和 bit 19

START_CLKHS=1

d. 产生 CAL 值

在校准模式下，必须选择产生 CAL 值，寄存器 bit 12 NO_CAL_AUTO=0 时，产生 CAL 值。

e. 溢出选择

在校准模式下，必须开启溢出，寄存器 bit 7 EN_SEL_TIMO=1 开启溢出时间，且溢出时间和寄存器 bit 23-22 SEL_TIMO 设置有关。

f. 选择输入触发方式

可通过设置寄存器的 Bit 8-10(NEG_X)在每一个输入端口(Start,Stop1,Stop2)边沿触发方式。当 RFEDGE = 0 时，NEG_X = 0 则上升沿触发，NEG_X = 1 则下降沿发。还可以通过设置寄存器的 Bit0&1(REFEDGE1 & FEDGE2)，可以选择 STOP 下降沿单独触发(RFEDGE=0)还是上升沿和下降沿同时触发(RFEDGE=1)，当 RFEDGE=1 时，Bit 9-10 选择无效。

g. 中断

中断引脚 INT 可以有不同的中断源，在寄存器的 Bits4-6(EN_INT)中进行选择,由于 Reg bit 5=1 中断输出最早，Reg bit 4=1 输出最晚，用户可以根据实际情况进行选择。

Reg bit 4 = 1 ALU 已经准备好。

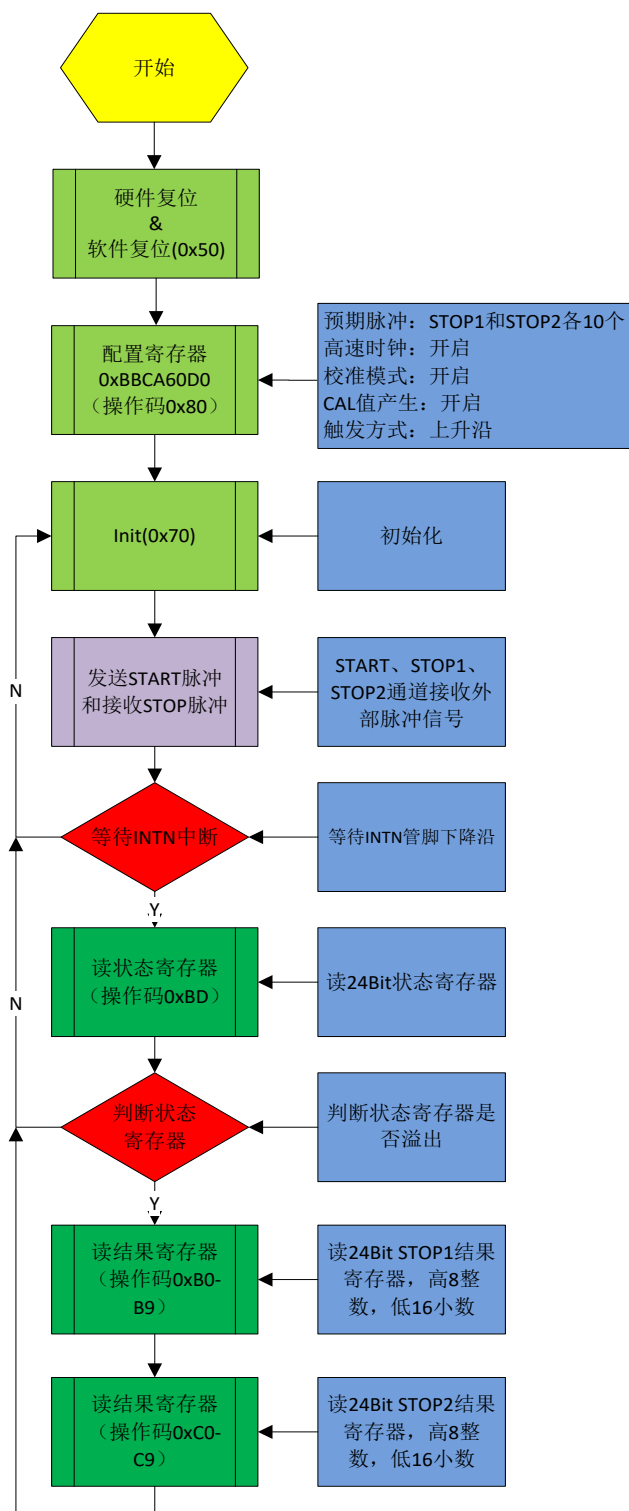
Reg bit 5 = 1 预期脉冲个数全部被接收到。

Reg bit 6 = 1 测量时间溢出&TDC 溢出。

h. 高速时钟分频

由于校准测量时间小于 $2 \times T_{ref}$ ，所以需要测量时间增长的话，需要设置高速时钟分频，在寄存器的 Bits20-21(DIV_CLKHS)中进行设置，但 $2 \times T_{ref}$ 不能超出测量范围最大值 $4\mu s$ 。

6.4.3 测量流程



校准模式

7. 高速振荡器

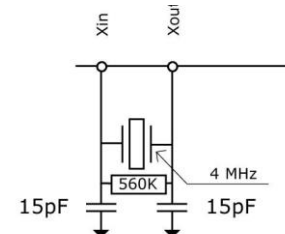
MS1003 在校准模式下需要高速时钟用于校准采样，通常 MS1003 会需要一个高速时钟单元进行校准，频率范围 1-8MHZ，推荐高速时钟频率为 4MHz。

晶振在一直起振的状态下，平均工作电流为 260 μA 。但是晶振仅在测量时间的时候需要开启，MS1003 可以通过内部电路控制晶振的开启和关闭。设置是通过设置参数 START_CLKHS 来实现。

START_CLKHS = 0 晶振关闭

= 1 晶振持续开启

通过关闭晶振这种方式电流消耗可以大大被降低。

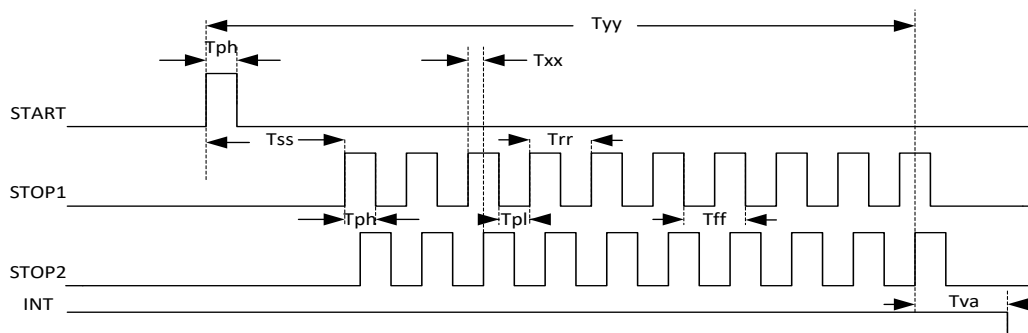


8. 快速初始化

MS1003 提供了快速初始化的功能。设置寄存器的 bit16(EN_FAST_INIT)= 1, 中断标志会自动初始化 TDC。因此在读出数据时 TDC 就已经准备好进行下次测量了。这种模式只适用于高速应用中。这对于只有一个 STOP 信号的非校准测量模式下尤其适合。在快速初始化模式下，状态寄存器的值永远是 0，所以无需再读状态寄存器。

9. INTN 不同模式下产生时间

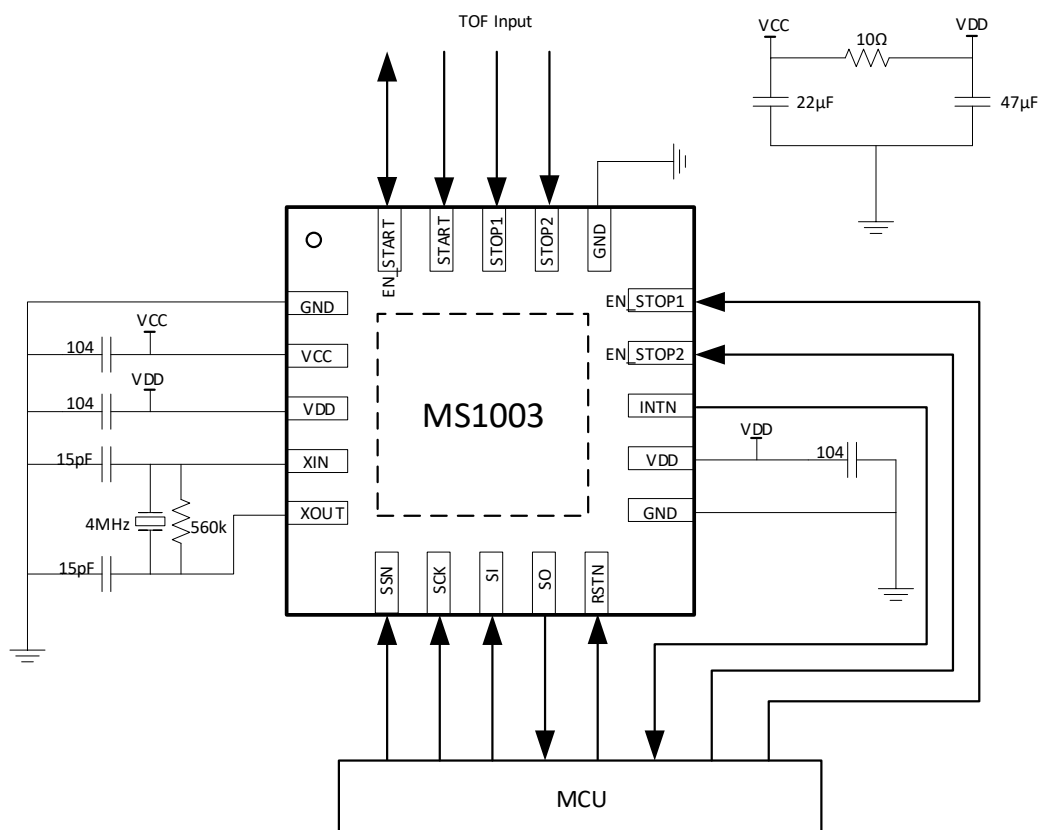
INIT 是整个测试流程的重要标志位，INTN 是和 EN_INT[2:0]来配合使用，不同的中断源输出中断时间不一样，如下图 Tva 的时间为 INTN 产生时间，具体统计如下：



| 名称 | 条件（以下测试高速时钟均为 8MHZ） | 参数 | 单位 |
|--------|---|-----|---------------|
| Tinit1 | VCC=3.3V; EN_INT: End Hits=1; 非校准模式; 关闭 CAL 校准; 预期 1 个 STOP 脉冲, 并获得一个脉冲。 | 16 | ns |
| Tinit2 | VCC=3.3V; EN_INT: ALU=1; 非校准模式; 关闭 CAL 校准; 预期 1 个 STOP 脉冲, 并获得一个脉冲。 | 104 | ns |
| Tinit3 | VCC=3.3V; EN_INT: ALU=1; 非校准模式; 开启 CAL 校准; 预期 1 个 STOP 脉冲, 并获得一个脉冲。 | 800 | ns |
| Tinit4 | VCC=3.3V; EN_INT: Timeout=1; 非校准模式; 溢出关闭; 预期 1 个 STOP 脉冲, 未获得一个脉冲。 | 16 | μs |

| 名称 | 条件（以下测试高速时钟均为 8MHZ） | 参数 | 单位 |
|---------|--|------|----|
| Tinit5 | VCC=3.3V; EN_INT: Timeout=1; 非校准模式; 溢出开启, 且 SEL_TIMO_MB2=0; 预期 1 个 STOP 脉冲, 未获得一个脉冲。 | 240 | ns |
| Tinit6 | VCC=3.3V; EN_INT: Timeout=1; 非校准模式; 溢出开启, 且 SEL_TIMO_MB2=1; 预期 1 个 STOP 脉冲, 未获得一个脉冲。 | 500 | ns |
| Tinit7 | VCC=3.3V; EN_INT: Timeout=1; 非校准模式; 溢出开启, 且 SEL_TIMO_MB2=2; 预期 1 个 STOP 脉冲, 未获得一个脉冲。 | 1000 | ns |
| Tinit8 | VCC=3.3V; EN_INT: Timeout=1; 非校准模式; 溢出开启, 且 SEL_TIMO_MB2=3; 预期 1 个 STOP 脉冲, 未获得一个脉冲。 | 2000 | ns |
| Tinit9 | VCC=3.3V; EN_INT: ALU=1; 校准模式; 开启 CAL 校准, 溢出开启; 且 SEL_TIMO_MB2=0; 预期 1 个 STOP 脉冲, 并获得一个脉冲。 | 1300 | ns |
| Tinit10 | VCC=3.3V; EN_INT: Timeout=1; 校准模式; 开启 CAL 校准; 溢出开启, 且 SEL_TIMO_MB2=0; 预期 1 个 STOP 脉冲, 未获得一个脉冲。 | 240 | ns |
| Tinit11 | VCC=3.3V; EN_INT: Timeout=1; 校准模式; 开启 CAL 校准; 溢出开启, 且 SEL_TIMO_MB2=1; 预期 1 个 STOP 脉冲, 未获得一个脉冲。 | 500 | ns |
| Tinit12 | VCC=3.3V; EN_INT: Timeout=1; 校准模式; 开启 CAL 校准; 溢出开启, 且 SEL_TIMO_MB2=2; 预期 1 个 STOP 脉冲, 未获得一个脉冲。 | 1000 | ns |
| Tinit13 | VCC=3.3V; EN_INT: Timeout=1; 校准模式; 开启 CAL 校准; 溢出开启, 且 SEL_TIMO_MB2=3; 预期 1 个 STOP 脉冲, 未获得一个脉冲。 | 2000 | ns |

典型应用图

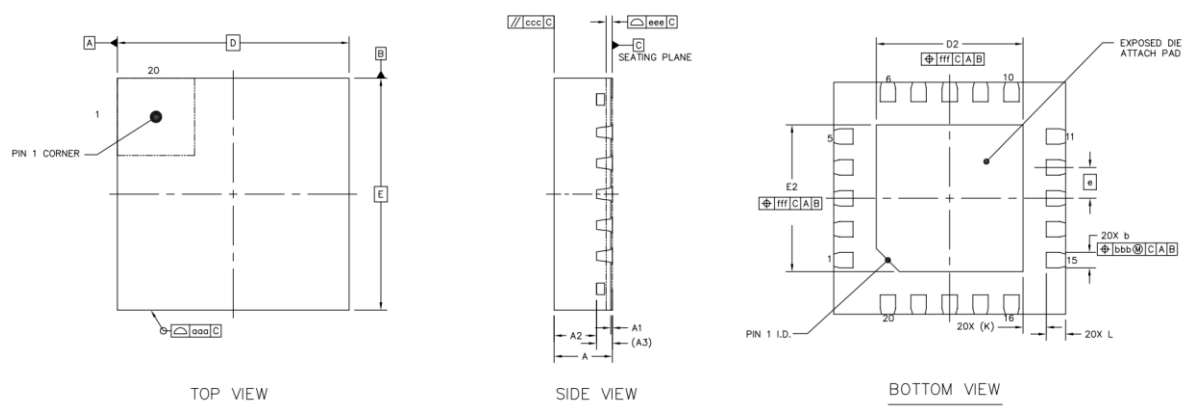


MS1002&MS1022&MS1003 主要性能对比

| 对比参数 | 对比条件 | MS1002 | MS1022 | MS1003 | 单位 |
|--------------|---------------|--------|--------|--------|-----|
| 测量分辨率 1 | VDD=3.3V, 单精度 | 65 | 80 | 46 | ps |
| 测量分辨率 2 | VDD=3.3V, 双精度 | / | 40 | 23 | ps |
| 测量范围 | 非校准 | 2 | 2.4 | 16 | μs |
| | 校准模式 | 4000 | 4000 | 4 | μs |
| SPI 速度 | VDD=3.3V | 20 | 20 | 40 | MHz |
| STOP 通道数 | 单精度 | 2 | 2 | 2 | / |
| | 双精度 | 1 | 1 | 1 | / |
| STOP 通道捕获脉冲数 | VDD=3.3V | 4 | 4 | 10 | / |
| 测量未达预期脉冲数 | 非校准模式 | 否 | 否 | 是 | / |
| 一次性输出测量结果 | 未溢出情况下 | 否 | 否 | 是 | / |

封装外形图

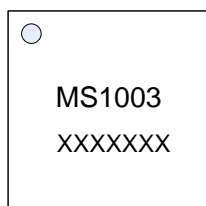
QFN20



| 符号 | 尺寸（毫米） | | |
|-----|-----------|------|------|
| | 最小值 | 典型值 | 最大值 |
| A | 0.7 | 0.75 | 0.8 |
| A1 | 0 | 0.02 | 0.05 |
| A2 | - | 0.55 | - |
| A3 | 0.203 REF | | |
| b | 0.15 | 0.2 | 0.25 |
| D | 3 BSC | | |
| E | 3 BSC | | |
| e | 0.4 BSC | | |
| D2 | 1.8 | 1.9 | 2 |
| E2 | 1.8 | 1.9 | 2 |
| L | 0.15 | 0.25 | 0.35 |
| K | 0.3 REF | | |
| aaa | 0.1 | | |
| ccc | 0.1 | | |
| eee | 0.08 | | |
| bbb | 0.07 | | |
| fff | 0.1 | | |

印章与包装规范

1. 印章内容介绍



产品型号：MS1003

生产批号：XXXXXXX

2. 印章规范要求

采用激光打印，整体居中且采用 Arial 字体。

3. 包装规范说明

| 型号 | 封装形式 | 颗/卷 | 卷/盒 | 颗/盒 | 盒/箱 | 颗/箱 |
|--------|-------|------|-----|------|-----|-------|
| MS1003 | QFN20 | 5000 | 1 | 5000 | 8 | 40000 |

声明

- 瑞盟保留说明书的更改权，恕不另行通知！客户在下单前应获取最新版本资料，并验证相关信息是否完整。
- 在使用瑞盟产品进行系统设计和整机制造时，买方有责任遵守安全标准并采取相应的安全措施，以避免潜在失败风险可能造成的人身伤害或财产损失！
- 产品提升永无止境，本公司将竭诚为客户提供更优秀的产品！



MOS电路操作注意事项

静电在很多地方都会产生，采取下面的预防措施，可以有效防止 MOS 电路由于受静电放电的影响而引起的损坏：

- 1、操作人员要通过防静电腕带接地。
- 2、设备外壳必须接地。
- 3、装配过程中使用的工具必须接地。
- 4、必须采用导体包装或抗静电材料包装或运输。



+86-571-89966911



杭州市滨江区伟业路 1 号
高新软件园 9 号楼 701 室



[http:// www.relmon.com](http://www.relmon.com)